

Выводы

1. Разработана математическая модель пневмотранспорта сыпучих материалов, учитывающая размеры частиц, сжимаемость газа, взаимодействие частиц друг с другом, с газом и стенками материалопровода. Проверена адекватность математической модели.

2. Выполнен промышленный эксперимент на ОАО «Бонолит – Строительные решения» (г. Москва). Получены экспериментальные данные о параметрах разгрузки камерного насоса.

Список использованных источников

1. ANSYS FLUENT User's Guide. Software Release Version 14. 2011. – 2498 p.
2. Chandana Ratnayake. A Comprehensive Scaling Up Technique for Pneumatic Transport Systems. – Norwegian University of Science and Technology, 2005. – 279 p.

УДК 669.13

П. А. Сеченов, А. А. Оленников, В. П. Цымбал

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»,
г. Новокузнецк, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТАВА ШЛАКА В ЗОННОЙ МОДЕЛИ КОЛОННОГО СТРУЙНО-ЭМУЛЬСИОННОГО РЕАКТОРА

Аннотация

В статье рассмотрена зонная модель колонного струйно-эмульсионного реактора. Основное внимание уделено процессам усвоения кусков руды при их попадании на границу шлак-металл. Модель расплавления шарообразных кусков представлена в виде последовательно нагреваемых и расплавляющихся слоев, в которых рассмотрен баланс энтальпий, необходимый для прогрева и усвоения (смыва) слоя, и поток тепла из окружающей среды, необходимый для обеспечения величины этой энтальпии. Передача тепла в куске руды происходит по следующей схеме: пока внешний слой расплавляется, следующий за ним слой нагревается. Разработаны математические модели, рассчитывающие: время расплавления кусков руды в зависимости от радиуса и динамику изменения состава шлака на границе шлак-металл при ступенчатой и импульсной подаче.

Ключевые слова: зонная модель, динамика, состав шлака, струйно-эмульсионный реактор, растворение кусков руды.

Abstract

The article has been discussed the band model column spray-emulsion reactor. Emphasis has been given to processes in which the absorption of pieces of ore as they enter the border slag-metal. Model melting spherical pieces has been represented as consistently heated and melted layers

in which enthalpy balance is considered necessary for heating and assimilation (flushing) layer, and the flow of heat from the environment needed to ensure the value of the enthalpy. Heat transfer in a piece of ore occurs as follows: while the outer layer is melted, followed by the next layer is heated. The mathematical modelshave calculated: the time of melting the ore lumps, depending on the radius and the dynamic change in the composition of the slag at the slag-metal edge at stepped and impulse flow.

Keywords: band model, dynamics, slag composition, spray-emulsion reactor, dissolving pieces of ore.

Целью работы является исследование на математической модели влияния динамики изменения состава шлака при подаче в струйно-эмульсионный реактор [1] кусков руды различного гранулометрического состава, что может быть использовано в дальнейшем для управления процессом изменения содержания углерода в металле.

На рис. 1 представлена зонная модель, в которой выделены следующие зоны. Зона 1–3 процессы в ректоре-осцилляторе, где осуществляется предварительное сжигание топлива и формируется рабочая смесь (газовзвесь) с газосодержанием порядка 0,99. Эта газовая взвесь через соединительный канал (зона 3) подается в зону 4, где кинетическая энергия двухфазного потока превращается в потенциальную. Зона 4 играет роль провальной решетки, разделяющей верхнюю (зоны 6 и 7) и нижнюю часть (зоны 5 и 8) этого реактора.

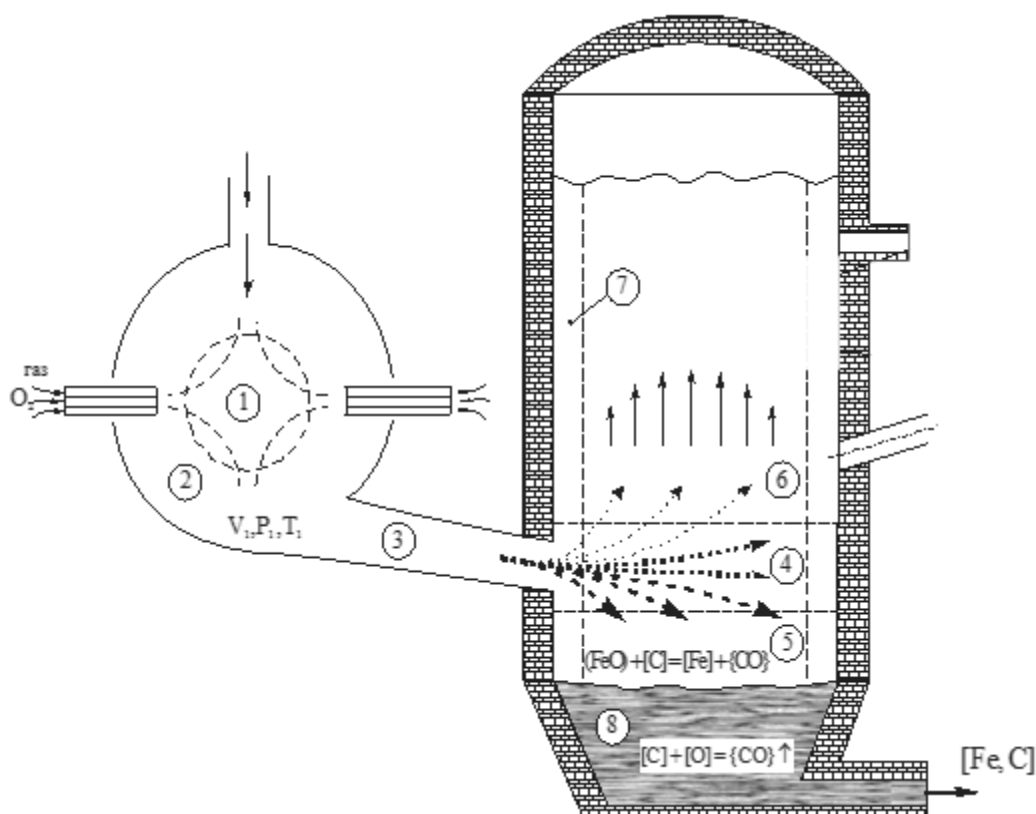


Рис. 1. Зонная модель струйно-эмульсионного реактора

Основное внимание в работе уделено процессам, происходящим в зонах 5 и 8 (см. рис. 1) при подаче через соединительный канал 3 части кусков руды достаточно большой крупности (порядка 1–5 см). В связи с этим рассматриваются модель динамики растворения этих кусков и изменения состава шлака при попадании их на границу шлак–металл. В основу

растворения кусков принята следующая гипотеза: считается, что куски представляются в виде шара, а в шаре рассматриваются достаточно тонкие последовательно смываемые слои. В слоях рассматривается баланс энтальпии, необходимый для прогрева и усвоения (смыва) слоя, и поток тепла из окружающей среды, необходимый для обеспечения величины этой энтальпии. Для слоя шара объемом dV за время $d\tau$ поступает количество теплоты [2]:

$$dQ = \Delta V \rho c_p T_{пл}, \quad (1)$$

где ρ – плотность; c_p – теплоемкость; $T_{пл}$ – температура плавления.

С другой стороны, за время $d\tau$ через площадь поверхности S данного слоя шара поступает из окружающей среды с температурой $T_{среды}$ количество теплоты [2], в соответствии с соотношением (2):

$$dQ = \alpha_T (T_{среды} - T_{слоя}) S d\tau, \quad (2)$$

где α_T – коэффициент теплоотдачи, $T_{среды}$ – температура среды; $T_{слоя}$ – температура слоя.

Из (1) и (2) уравнений получаем:

$$\Delta V_{сл} \rho c_p T_{пл} = \alpha_T (T_{среды} - T_{слоя}) S \tau \quad (3)$$

Данные по теплофизическим константам α_T , ρ , c_p , $T_{пл}$ взяты из источников [3–4].

Отсюда находится время растворения слоя по формуле (4):

$$\tau = \frac{\Delta V_{сл} \rho c_p T_{пл}}{q_{вн} S} \quad (4)$$

Тогда время растворения шара, вычисляется по формуле:

$$\tau_{шара} = \sum_{i=1}^n \tau_{слоя}, \text{ где } n = \frac{r_{шара}}{\Delta r} \quad (5)$$

Передача тепла в шаре происходит по следующей схеме: пока внешний слой расплавляется, следующий за ним слой нагревается, как показано на рис. 2.

Для i -го слоя время, за которое i -й слой расплавится, рассчитывается по следующим формулам:

$$\tau_{распл,i} = \frac{\Delta V_{сл} \rho c_p T_{пл}}{\alpha (T_{среды}^i - T_{слоя}^i) S}, \text{ где } T_{слоя}^i = \frac{T_{среды}^i + T_{нагр,i-1}}{2} \quad (6)$$

Температура нагреваемого слоя вычисляется по формуле:

$$T_{нагр,i} = \frac{\alpha (T_{слоя}^i - T_{слоя}^{i+1}) S \tau_{распл,i}}{\Delta V \rho c_p}, \text{ где } T_{слоя}^{i+1} = \frac{T_{слоя}^i + T_{нагр,i-1}}{2} \quad (7)$$

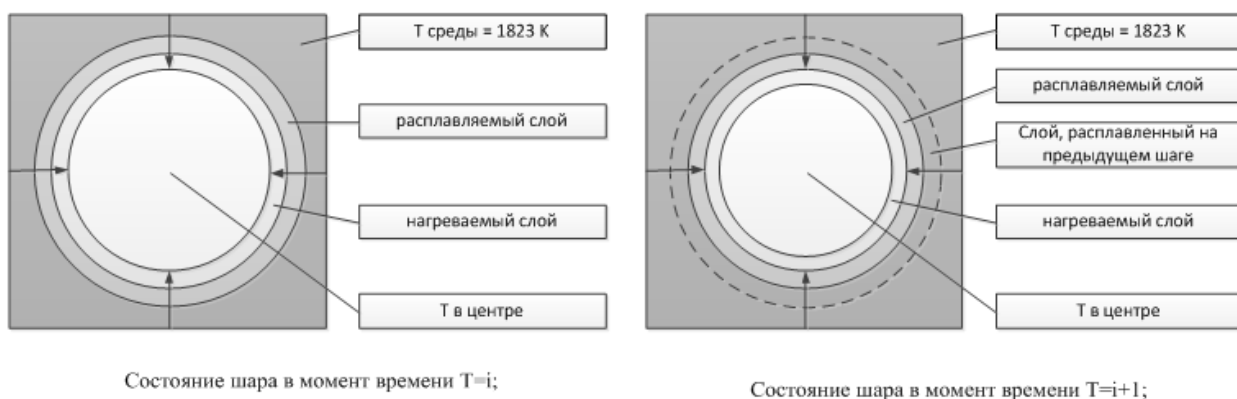


Рис. 2. Состояние куска на i и $i+1$ шаг

Совокупность растворяющихся кусков руды поступает в зону 5б, которую можно рассматривать в виде следующей модели (рис. 3).

По формуле (8) находят процентный состав вещества в шлаке:

$$x_i = \frac{x_i + dx_i}{\sum_{i=1}^n (x_i + dx_i)}, \quad (8)$$

где x_i – масса вещества i в шлаке; dx_i – прирост массы вещества i из расплавленного слоя руды; $\sum_{i=1}^n (x_i + dx_i)$ – общая масса шлака.

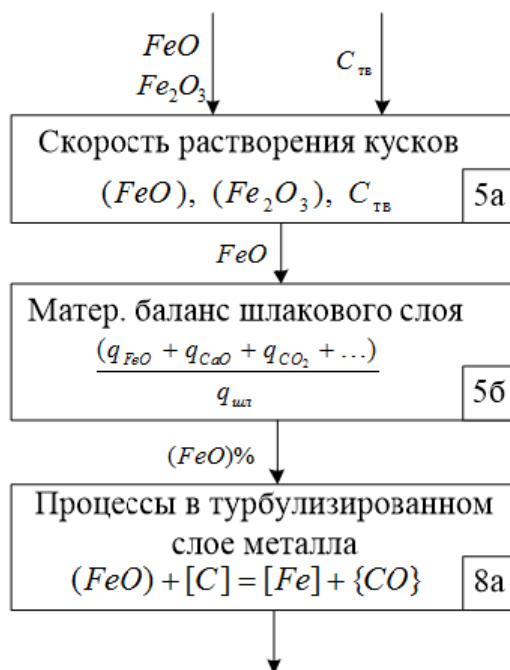


Рис. 3. Зоны 5–8

Прирост массы вещества i из расплавленного слоя руды рассчитывается по формуле:

$$dx_i = \frac{4}{3} \pi \Delta R^3 \rho n, \quad (9)$$

где ρ – плотность руды; n – количество шаров, приходящихся на массу; $\Delta R = R_{i-1} - R_i$ – изменение радиуса на предыдущем и текущем шаге.

Делается допущение, что интенсивность расходования кислорода из шлака в металл, вследствие увеличения градиента концентраций между шлаком $(FeO)_{III}$ и металлом $[O]_M$ определяется процессом турбулентной диффузии:

$$V_{O_2} = \beta_{MIII}[(FeO)_{III} - \frac{72}{16}[O]_M]. \quad (10)$$

В приведенных ниже результатах исследования сделано предположение, что половина поступающего кислорода расходуется на реакцию обезуглероживания в металле, а другая половина на дожигание CO до CO₂ в газовой фазе.

На рис. 4 представлено изменение основных компонентов шлака: FeO, SiO₂, CaO, Al₂O₃ при ступенчатом (20 % от общей подачи) изменении подачи (рис. 4, а) (при средней величине диаметра куска 0,05 м) и при импульсном (рис. 4, б) изменении подачи железной руды.

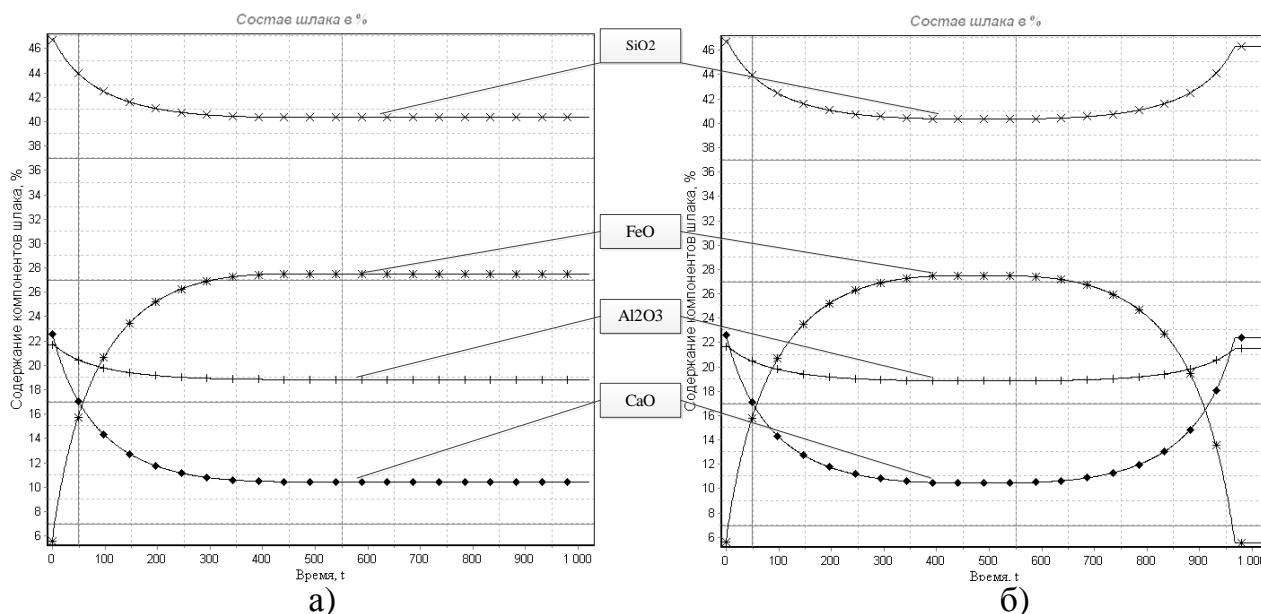


Рис. 4. Изменение процентного содержания основных компонентов шлака при постоянном ступенчатом изменении подачи железной руды (а) и прекращении подачи по достижении среднего времени расплавления куков (б)

Изменение FeO в шлаке влияет на скорость массопереноса оксида железа FeO из шлака в металл и, естественно, на скорость изменения содержания углерода в металле (зона 8, рис. 1). Эти процессы заслуживают отдельного внимания.

Список использованных источников

1. Цымбал В. П., Мочалов С. П., Калашников С. Н. Модели и механизмы самоорганизации в технике и технологиях. В 3-х.: Ч. III. Примеры реализации идей и принципов синергетики: учеб. пособие / под редакцией В. П. Цымбала. Новокузнецк: СибГИУ, 2005. 264 с.
2. Телегин А. С., Швыдкий В. С., Ярошенко Ю. Г. Тепломассоперенос: учебник для вузов. – М.: Металлургия, 1995. – 400 с.

3. Процесс Ромелт / под ред. В.А. Роменца. – М.: МИСиС, Издательский дом «Руда и металл», 2005. – 400 с.

4. Шелудяк Ю. Е., Кашпоров Л. Я. и др. Теплофизические свойства компонентов горючих систем. М., 1992. – 184 с.

УДК 669.042

**С. К. Сибатагуллин*, А. С. Харченко*, С. Р. Миникаев*, Д. М. Кузнецов*,
В. А. Бегинюк**, М. А. Семенюк****

*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет
имени Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

**ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»,
г. Магнитогорск, Россия

УЛУЧШЕНИЕ РАБОТЫ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ ВОЗДЕЙСТВИЕМ НА СООТНОШЕНИЯ РАСХОДОВ ПРИРОДНОГО ГАЗА И ДУТЬЯ ПО ФУРМАМ

Аннотация

Проведением промышленных испытаний на доменной печи ОАО «ММК» объемом 1370 м³ исследовали роль соотношения расходов природного газа и дутья по фурмам на ход доменной плавки. При повышении коэффициента равномерности с 0,91 до 0,95 создавались условия для увеличения расхода природного газа на 500 м³/ч с коэффициентом замены им кокса, равным 0,72 кг/м³.

Ключевые слова: доменная печь, природный газ, дутье, коэффициент равномерности, коэффициент замены кокса газом.

Abstract

By conducting the industrial tests on the blast furnaces of OJSC «MМК» volume 1370 m³ the role of the ratio of consumption of natural gas and blowing to tuyeres to the course of blast furnace melting was investigated. With increasing uniformity coefficient from 0.91 to 0.95, conditions were created to increase natural gas consumption by 500 m³/hr with replacement ratio them coke equal to 0.72 kg/m³.

Keywords: blast furnaces, natural gas, blowing, uniformity coefficient, replacement ratio.

Использование в доменных печах природного газа позволяет снижать удельный расход кокса с эквивалентом замены 0,6–0,8 кг/м³ в зависимости от его расхода, распределения процессов по высоте, сечению и окружности печи. В условиях пониженной стоимости газа по отношению к скиповому коксу это позволяет повысить экономичность доменной плавки. Для достижения максимального эффекта металлургические предприятия России стремятся поддерживать предельно высокий расход газа, при превышении которого ухудшается работа печи. Использование мероприятий, взаимодополняющих друг друга, позволит устранить от-